

Análise dos fatores que influenciam o Multicaminho

Wesley Gildo Canducci Polezel ¹
Msc. Eniuce Menezes de Souza ²
Prof. Dr. João Francisco Galera Monico ³

¹ UNESP - Depto. de Cartografia
19060-900 Presidente Prudente SP
wesley@estudante.prudente.unesp.br

² UNESP - Depto. de Cartografia
19060-900 Presidente Prudente SP
eniuce@pos.prudente.unesp.br

³ UNESP - Depto. de Cartografia
19060-900 Presidente Prudente SP
galera@prudente.unesp.br

Resumo: Atualmente o GPS tem sido muito utilizado em uma variedade de aplicações. Entretanto, a antena do receptor GPS capta o sinal resultante de diferentes direções. A direção desejada é aquela que permite calcular a menor distância entre o satélite e a antena do receptor. Porém, podem existir sinais refletidos em outros objetos que chegam até a antena do receptor, causando o efeito do multicaminho. Até hoje não há nenhum método que elimine totalmente este intrigante efeito, mas diversos que o minimizam. Neste trabalho apresenta-se alguns desses métodos e as características mais relevantes deste efeito. Objetiva-se apresentar um experimento realizado em ambiente com multicaminho. A partir deste, são analisadas as características do multicaminho, tais como sua relação com o ângulo de elevação do satélite, distância perpendicular entre o refletor e a antena, repetibilidade em dias consecutivos, bem como os erros de multicaminho causados por superfícies refletoras de materiais diferentes.

Palavras chaves: Multicaminho, Posicionamento Relativo, GPS

Abstract: Nowadays GPS has been very used in a great variety of applications. However, the antenna of the GPS receiver captures signals resulting from different directions. The correct direction is that allowing to calculate the smallest distance between the satellite and the receiver's antenna. However, the signals can be reflected in other objects before arriving the receiver's antenna, causing the multipath effect. So far there is no any method to completely eliminate this effect, but there are several ones that minimize it. This paper to presents some of these methods and the most relevant features of the multipath effect. Furthermore an experiment carried out in an environment with multipath is presented. From this experiment, the characteristics of the multipath are analyzed, such as, its relation with the elevation angle of the satellite, perpendicular distance between the reflector and the receiver's antenna, repeatability in consecutive days, as well as the multipath error caused by reflector surfaces of different materials.

Keywords: Multipath, Relative Positioning, GPS

1. Introdução

O sofisticado sistema que atualmente permite a qualquer pessoa se localizar no planeta com uma precisão nunca imaginada por navegantes e aventureiros há até bem pouco tempo é o chamado Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Position System*). Devido ao formidável potencial do sistema e o notável desenvolvimento da tecnologia envolvida em circuitos integrados nos receptores GPS que estão se tornando cada vez menores e de custo acessíveis, um grande número de usuários emergiu nos mais variados segmentos da comunidade civil, tais como: navegação, posicionamento topográfico e geodésico, agricultura, etc.

Entretanto, existem alguns efeitos que afetam a precisão e acurácia deste sistema. Dentre eles, estão aqueles que afetam a qualidade do sinal durante sua propagação entre o satélite e a antena do receptor, destacando-se a refração atmosférica, perdas de ciclos e multicaminho (MONICO, 2000). A investigação principal deste trabalho refere-se ao multicaminho. Para os demais efeitos, pode-se consultar (MONICO, 2000; SAPUCCI, 2001; SEEBER, 2003).

O multicaminho, como o seu próprio nome diz são sinais providos de caminhos secundários e captados pela antena do receptor GPS. Tais sinais são refletidos em objetos mais ou menos próximos à antena. Logo, em atividade de cadastro, a entendimento de como esse efeito afeta a acurácia dos resultados é muito importante.

Este artigo, objetiva mostrar algumas características importantes do multicaminho tais como sua relação com o ângulo de elevação do satélite, sua repetibilidade em dias consecutivos, além da relação com a reflexão em diferentes materiais.

2. O Problema do Multicaminho

Atualmente o GPS tem sido muito explorado, pois seus recursos são os mais variados. Contudo, existem diversos tipos de erros envolvidos. Uma das maiores fontes de erros é o multicaminho, que são caminhos secundários que o sinal percorre até chegar à antena do receptor, como mostrado na Figura 1.

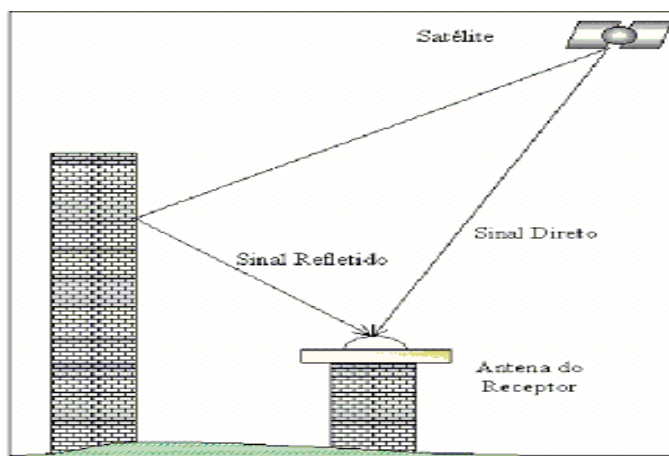


Figura 1: Ocorrência do multicaminho

Esses sinais têm a característica de serem atrasados, comparados aos sinais que vem diretamente, pois os caminhos percorridos são mais longos, devidos às reflexões. Tais sinais podem ser refletidos em superfícies inclinadas, verticais ou horizontais, como por exemplo, ruas, edifícios, rios, lagos, veículos, etc. Dessa forma, deve-se ter cautela na localização dos receptores durante a coleta de dados em especial, em estações de referência. Porém, tal cautela apenas ameniza o efeito do multicaminho.

Além disso, a ocorrência do multicaminho depende da refratividade do meio onde se posiciona a antena, das características da antena e do objeto refletor, e também, das técnicas utilizadas nos receptores para reduzir os sinais refletidos (MONICO, 2000, p.147). Em relação ao material do objeto refletor, materiais com coeficiente de reflexão maior, com o ferro, causam mais erros de multicaminho quando comparados à madeira, por exemplo, que possui coeficiente de reflexão menor.

O sinal refletido é sempre mais fraco que o sinal direto devido à atenuação no objeto refletor. Esta atenuação depende do material do refletor, do ângulo incidente da reflexão e da polarização do sinal. Em geral, reflexões com ângulos de incidência muito baixos, praticamente não sofrem atenuação. Esta é uma das explicações para o fato de satélites a baixo ângulos de elevação gerarem fortes incidências de multicaminho (LEICK, 1995, p.312).

O erro de multicaminho é inversamente proporcional à distância perpendicular do refletor a antena do receptor, ou seja, quanto mais próximo o receptor estiver do objeto refletor maior será o erro de multicaminho. Para mais detalhes pode-se consultar (SOUZA, 2004).

Segundo Moelker (1997), a propagação do multicaminho pode ser classificadas em três tipos:

- **Reflexão especular:** proveniente da reflexão em uma superfície suave (lisa), sendo que a onda resultante é uma cópia atrasada do sinal direto, diferindo deste apenas em fase e amplitude;
- **Difração:** proveniente de reflexões nas bordas e nos cantos dos objetos refletores;
- **Multicaminho difuso:** proveniente da reflexão em superfícies rugosas, semelhante a várias reflexões especulares.

Segundo Comp e Axelrad (1996), o multicaminho especular é o que mais afeta na maioria das aplicações que utilizam as medidas da fase da onda portadoras e suas diferenças.

3. Técnicas de Mitigação do Multicaminho

Existem algumas técnicas para minimizar o multicaminho que utilizam a geometria de propagação do sinal. Essas técnicas são geralmente eficientes mais não eliminam completamente este efeito. É importante evitar ou pelo menos minimizar a propagação do multicaminho, em particular em estações de referências, pois o multicaminho se atém a propagação em todas as posições circundantes. Algumas técnicas são indicadas para minimizar esse efeito:

- **Planejamento das observações** - Segundo Seeber (2003), alguns critérios devem ser levados em consideração no planejamento das observações, tais como: evitar refletores nas proximidades, usar a antena mais próxima do chão e coletar dados por longo intervalo de tempo;
- **Antenas especiais** - Sinais secundários que chegam por baixo da antena podem ser significativos para o posicionamento, dependendo do tipo de antena utilizada. Para evitar tais sinais, é necessária a utilização da antena *chocke-ring*, que é composta por um plano de terra com uma série de círculos concêntricos com altura de aproximadamente de um quarto de comprimento de onda, valor máximo do multicaminho para a fase da portadora, e espaçamento de aproximadamente metade do comprimento de onda (LEICK, 1995). A antena *chocke-ring* atenua apenas os sinais refletores provenientes de reflexão do chão. Sinais refletidos em construções altas não são atenuados. A NovAtel tem fabricado antenas com a recente tecnologia *Pinwheel*, como a GPS-600 que foi projetada para operar nas frequências L1 e L2 (NOVATEL, 2003). Esta antena possui performance similar ao da *chocke-ring*, porém com custo e peso reduzidos;
- **Processamento espacial de várias antenas** - Como a geometria varia em diferentes locais, o sinal GPS corrompido pelo multicaminho, geralmente terá diferentes características em cada antena. O usuário pode explorar essas diferenças e isolar o sinal vindo diretamente. Alguns pesquisadores têm utilizado o processamento de várias antenas aproximadamente espaçadas, como exemplo Ray, Cannon e Fenton (1998) e Farret (2000). Enquanto Ray, Cannon e Fenton (1998) utilizaram 6 antenas, Farret (2000), utilizou apenas 2 antenas para mitigação do efeito do multicaminho na fase da portadora, baseado no aproveitamento da alta correlação de sinais em antenas próximas em um curto intervalo de tempo, que permite a separação de um sinal com multicaminho através de um estimador de parâmetros (*Extended Kalman Filtering* – EKF);
- **Calibração da estação** - Uma nova idéia para atenuar o efeito do multicaminho, é a calibração de estações, em particular estações de referência. O conceito básico deste método é desvincular o multicaminho através do movimento controlado de um robô. O robô opera perto da estação a ser calibrada. A estação fixa está sujeita a todos os sinais com multicaminho, enquanto a estação móvel elimina o multicaminho através de movimentos controlados;
- **Coleta de dados por longo intervalo de tempo** - Se um receptor observa um sinal por longo intervalo de tempo (algumas horas), pode ter vantagens da mudança de geometria das reflexões secundárias, causada pelo movimento angular do satélite GPS. Em virtude de requerer um longo intervalo de tempo de observação do sinal, estas técnicas são impraticáveis para a maioria das

aplicações. Um procedimento interessante é a observação de diferentes dias siderais, já que a geometria do satélite-receptor se repete em um lugar fixo depois de 24 h do tempo sideral (23h 56 min – Tempo Universal). Assim, o multicaminho deve apresentar o mesmo padrão em diferentes dias siderais.

-
- Existem outras técnicas, como por exemplo, as envolvidas no processamento em tempo real dentro do próprio receptor ou no processamento dos dados após a coleta. Para maiores detalhes sobre tais técnicas, pode-se consultar Souza (2004) e Seeber (2003).
-

4. Experimento e Análise dos Resultados

Um experimento foi realizado em um sítio localizado no município de Regente Feijó. Para realizar a coleta de dados foi utilizado um receptor Trimble 4600 LS (figura 2) de simples frequência. O receptor Trimble foi centrado em uma base nivelante e colocada diretamente no chão para evitar o multicaminho proveniente de reflexões no chão. Num primeiro momento a coleta de dados foi realizada considerando a inexistência de objetos que significativamente refletissem o sinal. Tais dados foram coletados nos dias 2, 3, 4 e 5 de julho durante quase 24 h em cada dia e com uma taxa de coleta de 15 s. Utilizou-se também uma máscara de elevação de 15°.



Figura 2: Receptores Trimble 4600 LS

No dia 6 de julho, uma placa de ferro de 1,2 × 3,0 m foi colocada a 6 m do receptor (figura 3), já no dia 7 de julho, esta placa foi colocada a 12 m de distância (figura 4).



Figura 3: Placa de ferro colocada a 6 m do receptor Trimble – dia 6



Figura 4: Placa de ferro colocada a 12 m do receptor Trimble – dia 7

No dia 11 de julho os dados foram coletados com uma placa de madeira de mesmo tamanho 1,2 × 3,0 m colocada distando 12 metros do receptor (figura 5). Nos dias 12 e 13 de julho, os dados foram coletados com esta mesma placa colocada a 6 metros de distância.

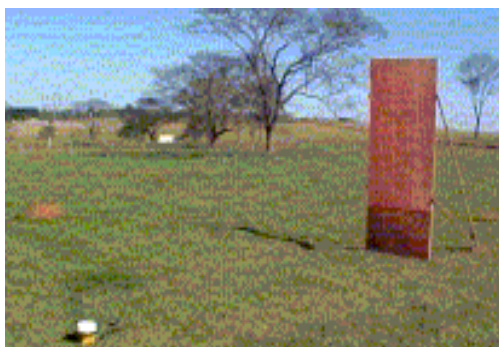


Figura 5: Placa de madeira colocada a 12 m do receptor Trimble – dia 11



Figura 6: Placa de madeira colocada a 6 m do receptor Trimble – dias 12 e 13

Para formar a linha de base, utilizou-se os dados coletados por um receptor Trimble 4000 SSI da estação UEPP pertencente a RBMC. Esta estação está localizada na própria FCT/UNESP, formando uma linha de base de aproximadamente 18 km. A antena utilizada nesta estação é uma *choke ring* e não existem objetos nas proximidades que significativamente reflitam o sinal GPS. Devido a este fato e ao curto comprimento da linha de base, considerou-se que os erros mais significativos nos resíduos das duplas diferenças (DDs) fossem provenientes do efeito do multicaminho gerado pelas placas refletoras.

Os dados foram processados no *software* científico GPSeq (MACHADO e MONICO, 1999), desenvolvido em FORTRAN 77, que realiza ajustamento recursivo utilizando como observações as DDs da fase de batimento da onda portadora e da pseudodistância a partir do código C/A. Para analisar os resultados diversas sessões de dados foram processadas. Os resultados de uma das sessões, a qual totaliza 82 épocas, serão apresentados neste artigo.

Como o multicaminho está relacionada com o ângulo de elevação e azimuth dos satélites, estes são mostrados nas figuras 7 e 8 respectivamente, pois serão utilizados nas análises do experimento.

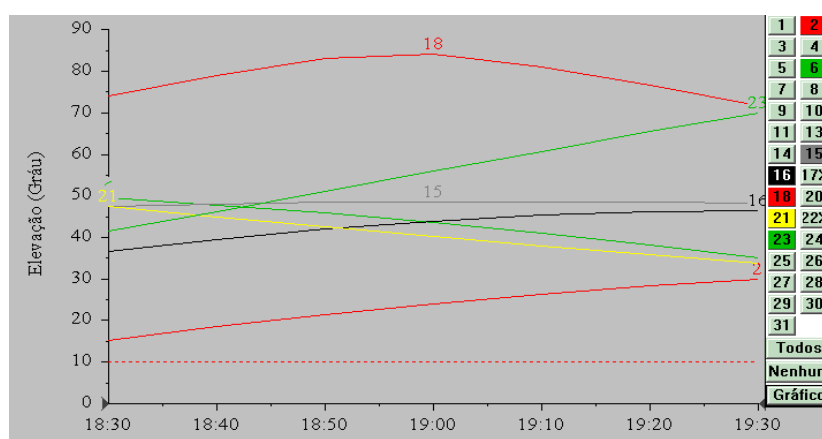


Figura 7 : Grau de elevação dos satélites

Pode-se observar na figura 7, que o satélite 18 apresentou o maior ângulo de elevação (75° e 85°). Por estar em altos ângulos de elevação foi escolhido como satélite base.

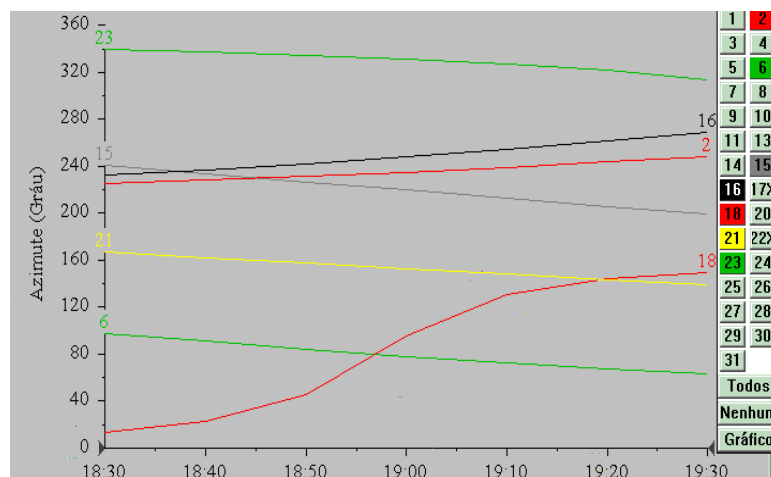


Figura 8 : Azimutes dos satélites

Na figura 9 é ilustrado um esquema do receptor envolvido no experimento, os objetos refletoras (placas) e a localização aproximada do norte magnético, o qual é utilizado para relacionar o azimute dos satélites à possibilidade ou não de reflexão de sinais nas placas refletoras.

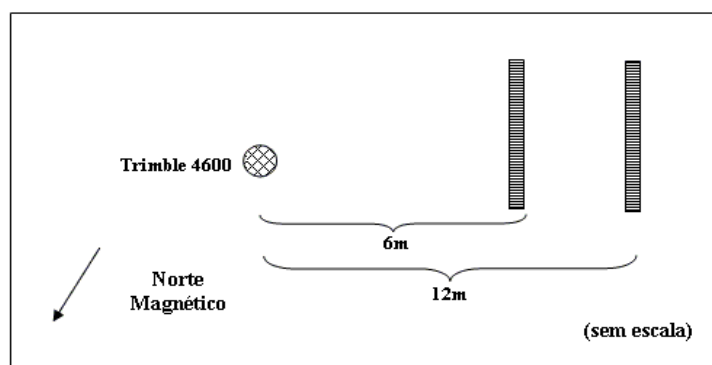


Figura 9 : Cenário do experimento

Para comparar os resultados a partir do processamento dos dados com e sem o efeito do multicaminho (placa refletora de ferro e madeira), os resíduos das DDs foram analisados tanto para a fase como para a código. Dessa forma, na figura 10a os resíduos de um conjunto de DD da fase dos dados de um dos dias sem o efeito do multicaminho são comparados com os resíduos do mesmo conjunto de DD formada no dia com a placa refletora de ferro a 6 m. Na figura 10b, uma comparação semelhante é feita em relação ao código e com a placa de madeira.

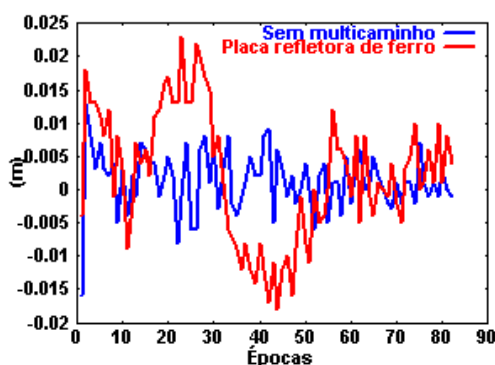


Figura 10(a) : Comparação dos resíduos sem e com o efeito do multicaminho - Resíduos da DD 18-02 da fase

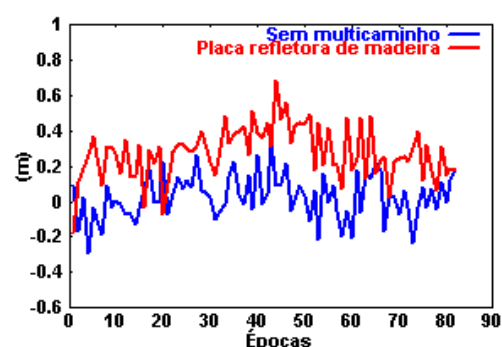


Figura 10(b) : Comparação dos resíduos sem e com o efeito do multicaminho - Resíduos da DD 18-06 do código

Como esperado, pode ser visto nas figuras 10a e 10b que os resíduos sem o efeito do multicaminho foram menores, tanto em relação à placa de ferro como a de madeira.

Para verificar a repetibilidade do efeito do multicaminho foram utilizados os dados coletados nos dois dias com a placa refletora de madeira a 12 m. Na figura 11a são apresentados os resíduos para a fase de uma das DDs, e na figura 11b, para o código.

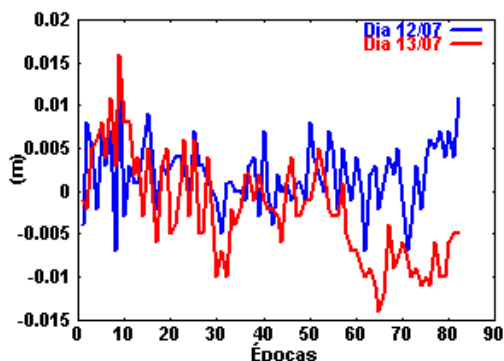


Figura 11 (a): Efeito da repetibilidade do multicaminho com a placa de madeira a 12 m - Resíduos da DD 18-02 da fase

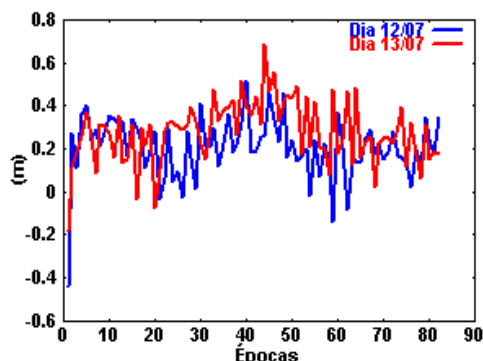


Figura 11 (b): Efeito da repetibilidade do multicaminho com a placa de madeira a 12 m - Resíduos da DD 18-06 do código

Como esperado, pode ser visto nas figuras 11a e 11b que o efeito do multicaminho é correlacionado em diferentes dias deste que a geometria do levantamento permaneça inalterada, ou seja, ocorre a repetibilidade deste efeito.

Para verificar a relação do multicaminho com o ângulo de elevação dos satélites, nas figuras 12a e 12b são mostrados os resíduos das DDs formadas com dois satélites ascendentes: PRN 02 e 23.

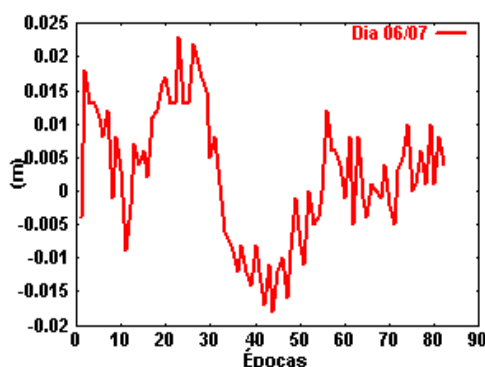


Figura 12 (a): Comparando o efeito do multicaminho com o ângulo de elevação - Resíduos da DD 18-02 da fase

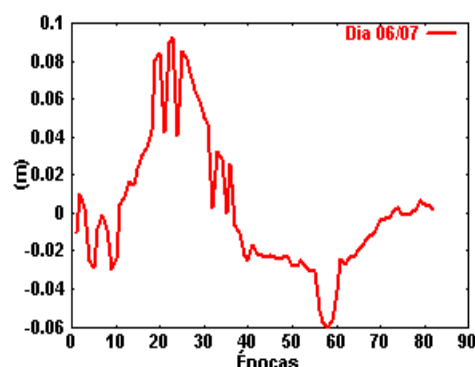


Figura 12 (b): Comparando o efeito do multicaminho com o ângulo de elevação - Resíduos da DD 18-23 da fase

Nas figuras 12a e 12b, pode ser verificado que conforme o ângulo de elevação do satélite aumenta, este fica menos suscetível a causar reflexões, e conseqüentemente, os erros de multicaminho diminuem.

O efeito do multicaminho causado por diferentes materiais também foi analisado, e como o esperado, nas figuras 13a e 13b pode ser visto que materiais com maior coeficiente de reflexão, como o ferro, causam maiores erros de multicaminho do que a madeira a qual possui um coeficiente de reflexão menor.

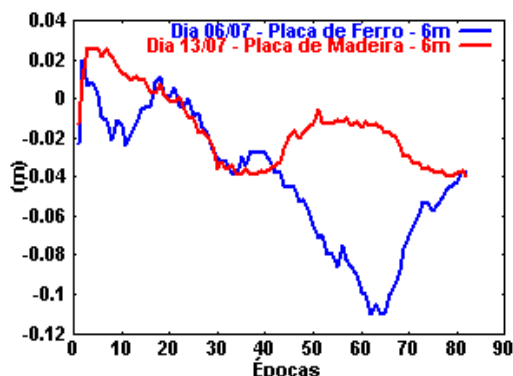


Figura 13 (a) : Resíduos para a fase comparando ferro e madeira a 6 m - Resíduos da DD 18-16 da fase

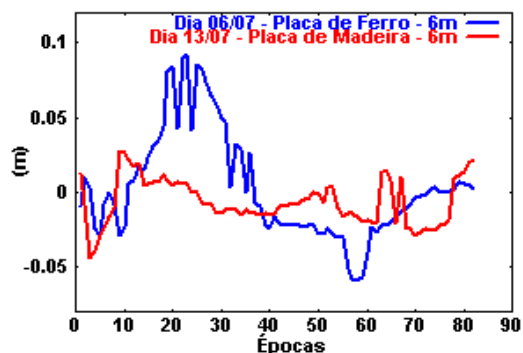


Figura 13 (b) : Resíduos para a fase comparando ferro e madeira a 6 m - Resíduos da DD 18-23 da fase

Os resultados mostrados da figura 13 foram apresentados para a fase. Na figura 14, resultados similares são mostrados para o código.

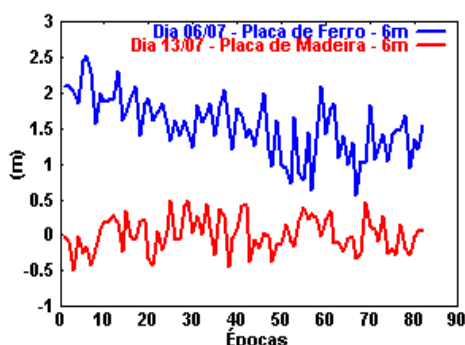


Figura 14 (a) : Resíduos para o código comparando ferro e madeira a 6 m - Resíduos da DD 18-02 do código

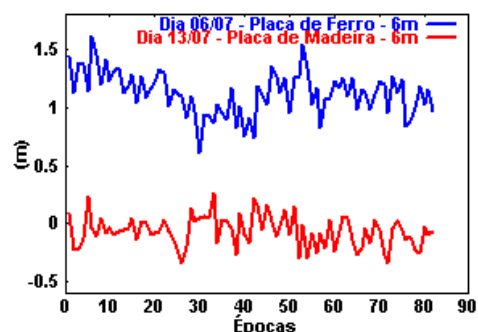


Figura 14 (b) : Resíduos para o código comparando ferro e madeira a 6 m - Resíduos da DD 18-16 do código

Com o intuito de verificar a relação do efeito do multicaminho com a distância perpendicular entre o objeto refletor e a antena do receptor, nas figuras 15a e 15b são comparados os resíduos de duas DDs para a fase.

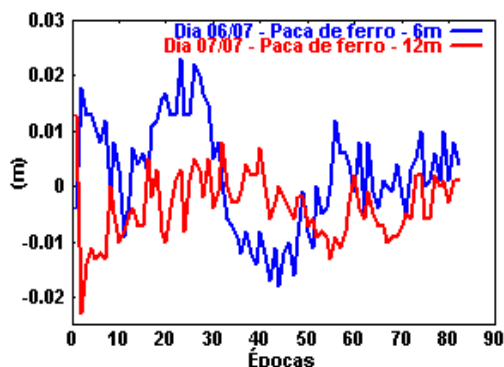


Figura 15 (a) : Resíduos para a fase comparando diferentes distâncias - Resíduos da DD 18-02

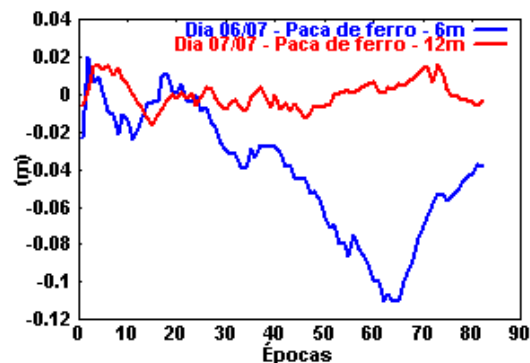


Figura 15 (b) : Resíduos para a fase comparando diferentes distâncias - Resíduos da DD 18-16

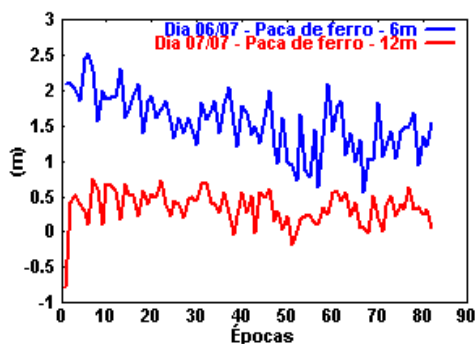


Figura 16 (a) : Resíduos para o código comparando diferentes distâncias - Resíduos da DD 18-02

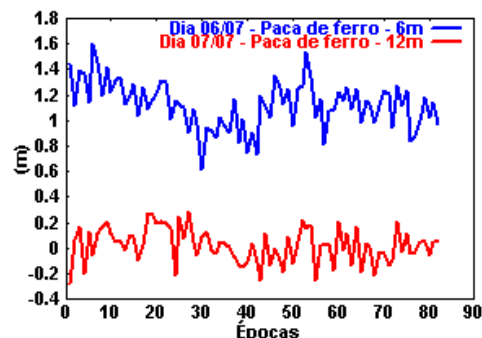


Figura 16 (b) : Resíduos para o código comparando diferentes distâncias - Resíduos da DD 18-16

A partir das figuras 15 e 16, pode-se verificar, como esperado, que o efeito do multicaminho é inversamente proporcional à distância perpendicular entre o objeto refletor e a antena do receptor, ou seja, quanto menor essa distância maior é o erro causado pelo multicaminho.

5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Neste artigo tratou-se do efeito do multicaminho e dos aspectos que influenciam a ocorrência do mesmo. A repetibilidade do multicaminho em dias consecutivos foi analisada e o fato de satélites em baixos ângulos de elevação causarem maiores erros também foi verificado.

O fato de o multicaminho depender do material do refletor também foi verificado. Dois materiais com coeficientes de reflexão distintos foram analisados, o ferro e a madeira, e concluiu-se que os materiais com maiores coeficientes de reflexão (ferro) causam erros de multicaminho maiores do que materiais como a madeira.

Verificou-se que erro de multicaminho é inversamente proporcional à distância perpendicular entre o objeto refletor e a antena do receptor. Pois quando a placa de ferro foi colocada a 6 m do receptor, os resíduos foram maiores quando comparados com os do dia em que a placa foi colocada a 12 m.

Os resultados apresentados neste artigo referem-se a um estudo inicial. Pretende-se futuramente, dentre outros, realizar outros experimentos, analisar a relação do efeito do multicaminho com a razão sinal/ruído (SNR – *Signal Noise-Ratio*) e verificar o efeito do multicaminho em estações de referência da RBMC.

6. Referências

- Axelrad, P.; Comp, C. J. e Macdoran, P. F.** *SNR- Based Multipath Error Correction for GPS Differential Phase*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1996, v. 32, p. 650-660.
- Farret, J. C.** *O efeito do multicaminho estático nas medidas da fase das portadoras GPS*. 2000. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Leick, A.** *GPS Satellite Surveying*. New York: John Wiley & Sons, 1995. 560p.
- Machado, W. C; Monico, J. F. G.** *Solução rápida das ambigüidades GPS utilizando o software GPSeq*. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Recife, 1999. Proceedings... 1 CDROM.
- Moelker, D. J.** *Multiple antennas for Advanced GNSS Multipath Mitigation and Multipath Direction Finding*. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 10, 1997, Kansas City, Missouri. Proceedings... Kansas City, Missouri: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1997. p. 541-550.
- Monico, J. F. G.** *Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: Descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: UNESP, 2000. 287 p.
- Novatel INC.** Disponível em: <<http://www.novatel.ca>>. Acesso em: 31 jul. 2003.
- Ray, J. K.; Cannon, M. E.; Fenton, P.** *Mitigation of Static Carrier Phase Multipath Effects Using Multiple Closely-Spaced Antennas*. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 11, 1998, Nashville. Proceedings... Nashville: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1998. p. 1025-1034.
- Sapucci, L. F.** *Estimativa do vapor d'água atmosférico e a avaliação do atraso zenital troposférico utilizando GPS*. 2001. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- Seeber, G.** *Satellite geodesy: foundations, methods and applications*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 586 p.
- Souza, M. E.** *Efeito de Multicaminho de Alta Frequência no posicionamento Relativo GPS Estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets*. 2004. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.